

# **Einfluss von Wüstenbedingungen auf Technologien der nächsten Generation**

Stefan Wilbert, N. Hanrieder, F. Wolfertstetter, F. Sutter,  
F. Wiesinger, P. Heller, M. Röger, R. Buck, R. Pitz-Paal

DLR Institut für Solarforschung

Sonnenkolloquium  
5.6.2014

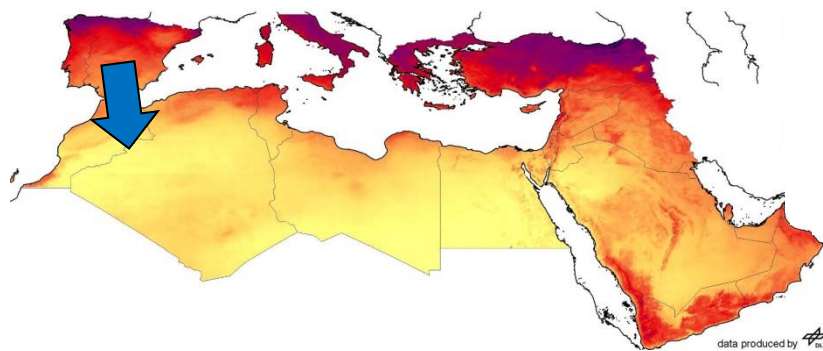


Wissen für Morgen

# Inhalt

- Motivation
- Wüstenbedingungen und ihre Auswirkungen
  - Zirkumsolarstrahlung / Sunshape
  - Extinktion zwischen Heliostat und Receiver
  - Verschmutzung von Kraftwerkskomponenten
  - Lebensdauerreduktion
- Ausblick

# Motivation



## Die nächste Generation:

- MENA
- $P_{el} > 50 \text{ MW}$
- $T > 500^\circ\text{C}$  (hohe Konzentration)
- kostengünstigere Komponenten (nahe Belastungsgrenze, wartungsarm)



# Zirkumsolarstrahlung – Sunshape



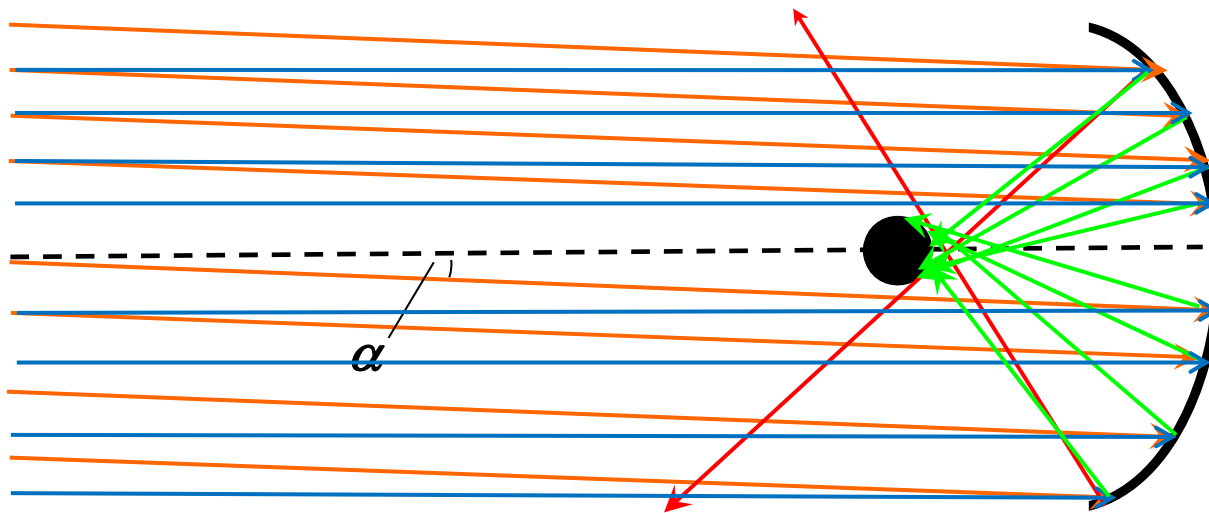
- Zirkumsolarstrahlung entsteht durch Vorwärtsstreuung
  - Wichtig bei hoher Aerosolkonzentration
- Sunshape beschreibt Winkelverteilung der Helligkeit

- **Konzentratoren nutzen:**

Quasi die gesamte Strahlung aus dem Bereich der  
Sonnenscheibe

+

Anteil der Zirkumsolarstrahlung



Besonders relevant für  
große Turmkraftwerke,  
hohe Konzentration

Welche CSP  
Technologie ist wo  
geeignet?



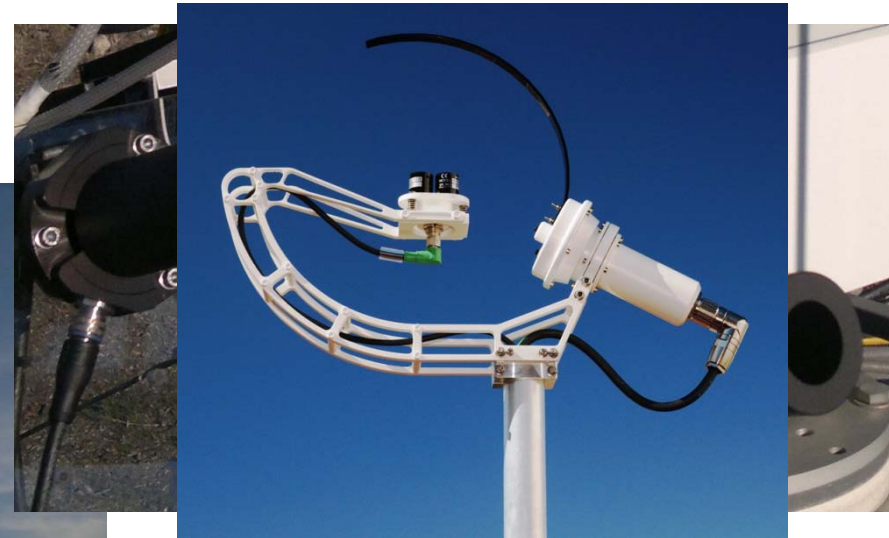


# Messung von Zirkumsolarstrahlung

- DLR's „SFERA System“
  - SAM (Sun & Aureole Measurement), Sonnenphotometer & Software
  - Automatische Messungen
- Master-system auf der PSA
  - Repliken: Frankreich, Vereinigte Arabische Emirate, weitere SAM Instrumente in Saudi Arabien und USA



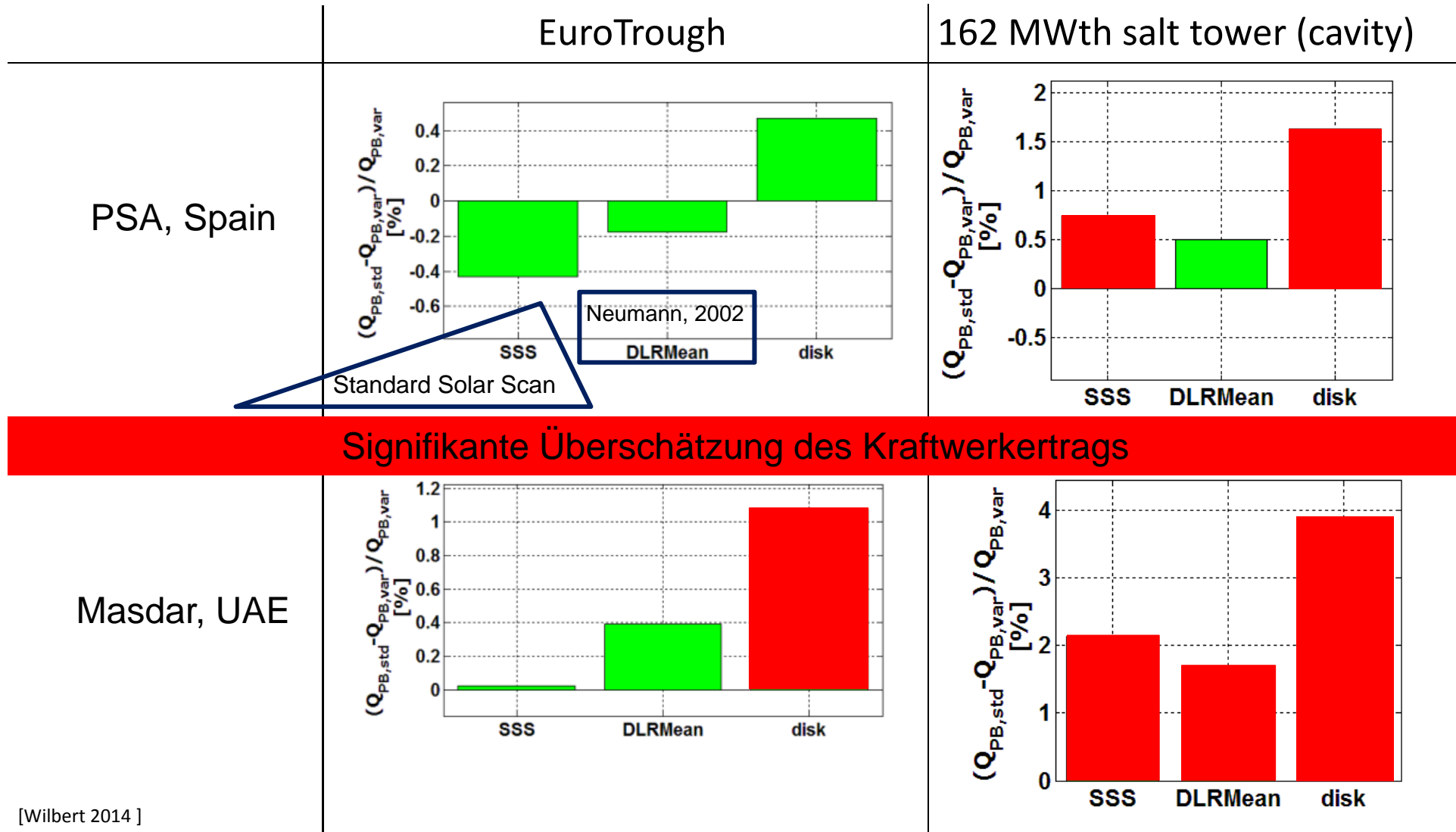
# Alternative Sunshape Messmethoden



- weniger kostspielige und wartungsintensive Methoden nötig
- Weitere verfügbare Optionen:
  - 2 Pyrheliometer mit unterschiedlichem Öffnungswinkel
  - Rotating Shadowband Irradiometer

# Sunshape Effekt auf CSP

- Raytracing Studie in SPRAY mit je 1 Jahr Messdaten
- $Q_{PB}$  ist die Jahressumme der Wärme die dem Power Block zugeführt wird
- Relative Abweichung von  $Q_{PB,std}$  (standard sunshapes) von  $Q_{PB,var}$  (sunshape Messungen)





# Atmosphärische Extinktion der Strahlung im Kraftwerk





# Atmosphärische Extinktion

Atmosphärische Extinktion ist in fast allen Raytracing Tools implementiert

→ meist mit konstantem Extinktionskoeffizienten

→ Wie groß ist der Extinktionskoeffizient?

→ DELSOL Fall „klar“: 90 % Transmission bei 1 km Weg (Heliostat – Receiver)

→ DELSOL Fall „trüb“: 75 %



Wie groß wird die nächste Generation von Turmkraftwerken?

Welche CSP Technologie ist wo geeignet?



# Atmosphärische Extinktion – Messmethoden



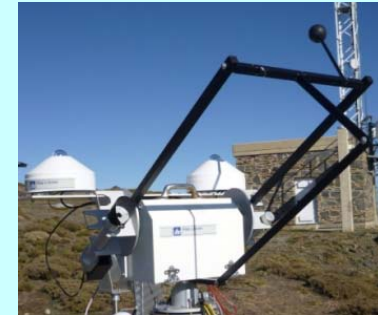
**Sichtweitesensoren  
(Streusensoren, FS11)  
+  
Software**



**Transmissometer  
(OPTEC)  
+  
Software**



*libRadtran*  
**Aerosol  
Partikelzähler  
+  
Strahlungs-Transfer  
Modell**



**DNI Messung  
am Boden  
und  
auf dem Turm**

# Messung des Extinktionskoeffizienten - LIDAR

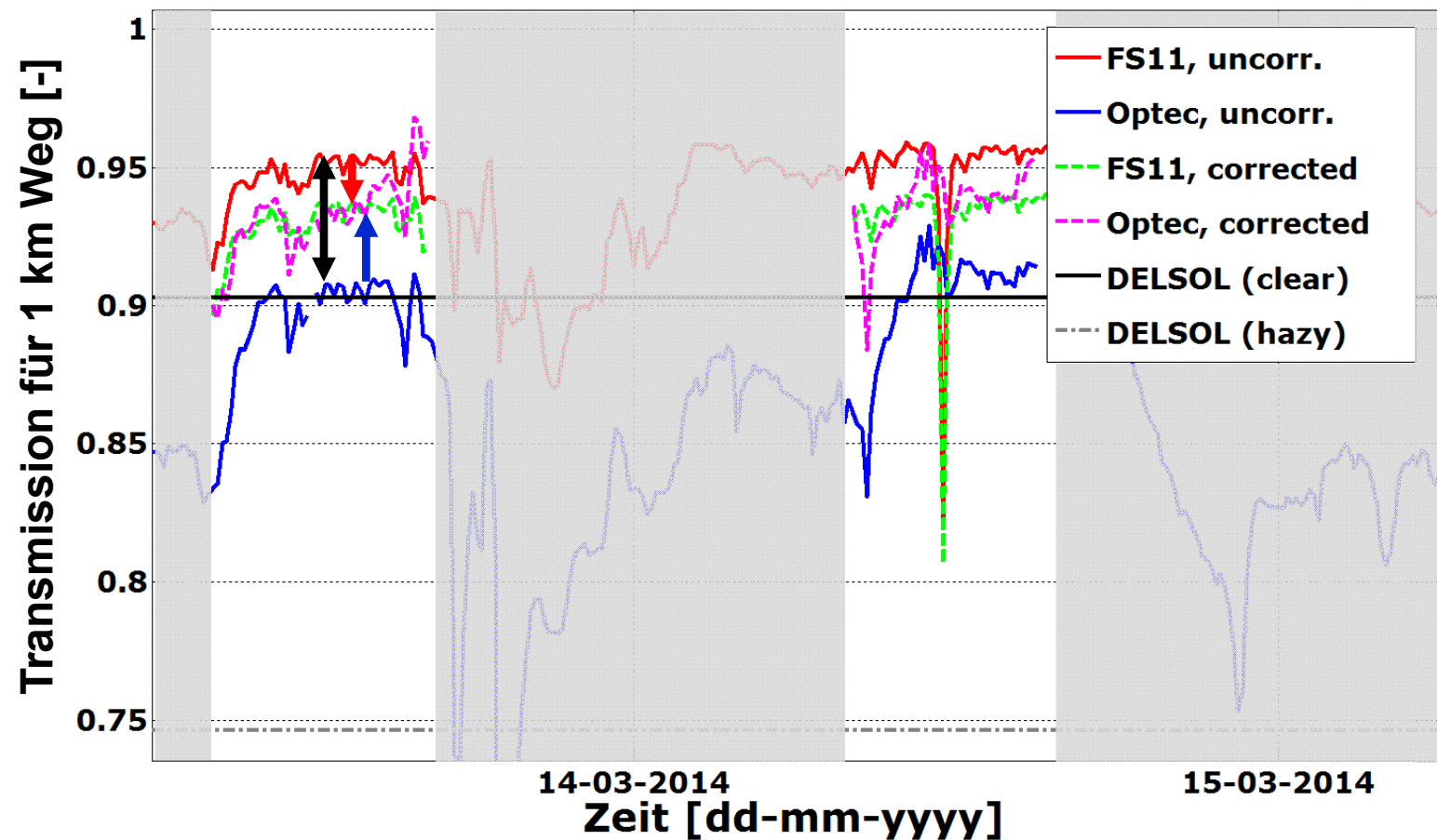
- LIDAR: LIght Detection And Ranging
- Aerosol Höhenprofil
  - > 100 m
- Beitrag zur Validierung





## Ergebnisse - Extinktion

- Kein existierendes Instrument misst die breitband-Transmission direkt
  - Systematische Fehler können korrigiert werden => DLR Methode bereit



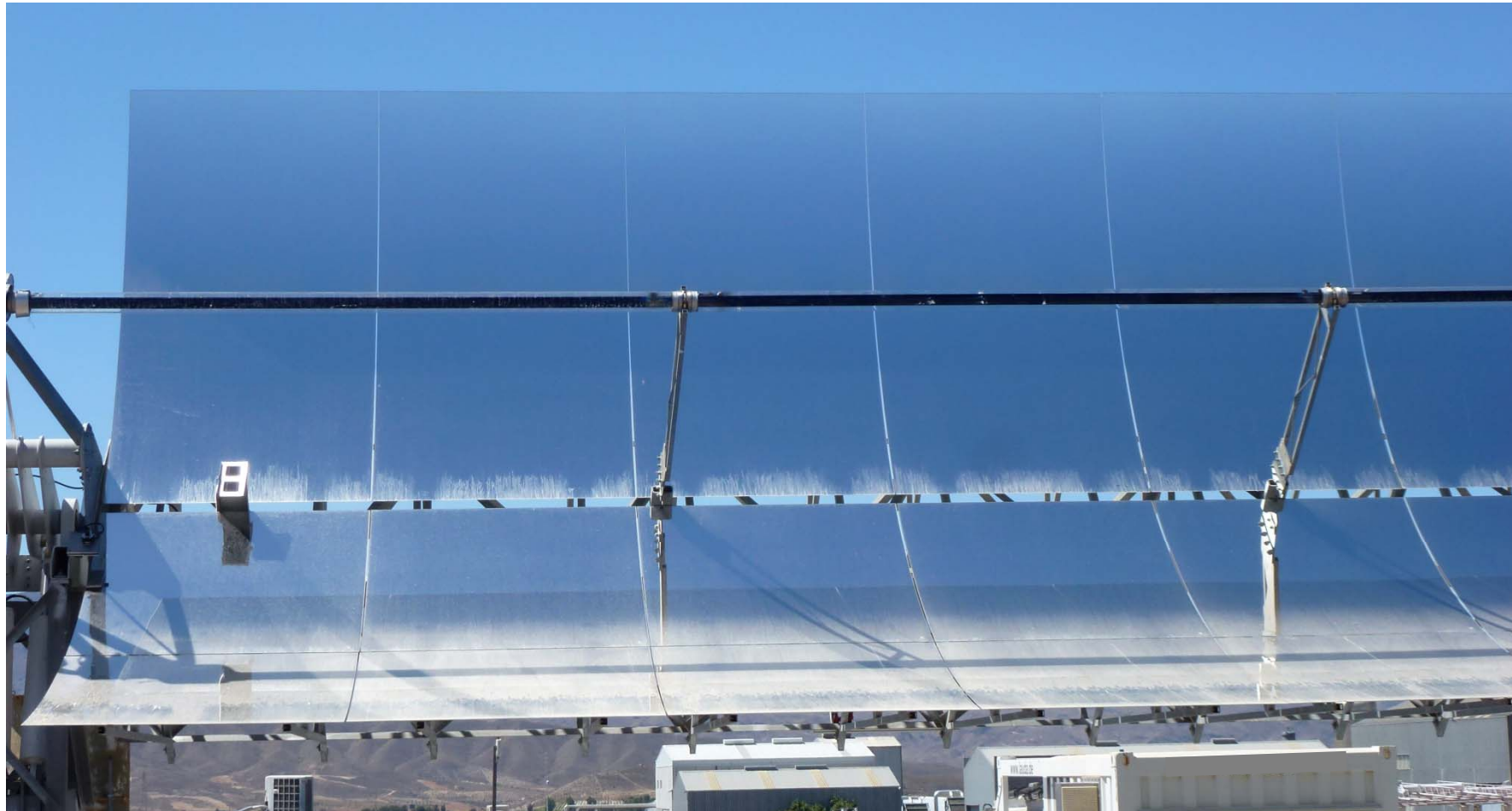
2 Jahre  
Messungen  
für die PSA



# Verschmutzung von Komponenten

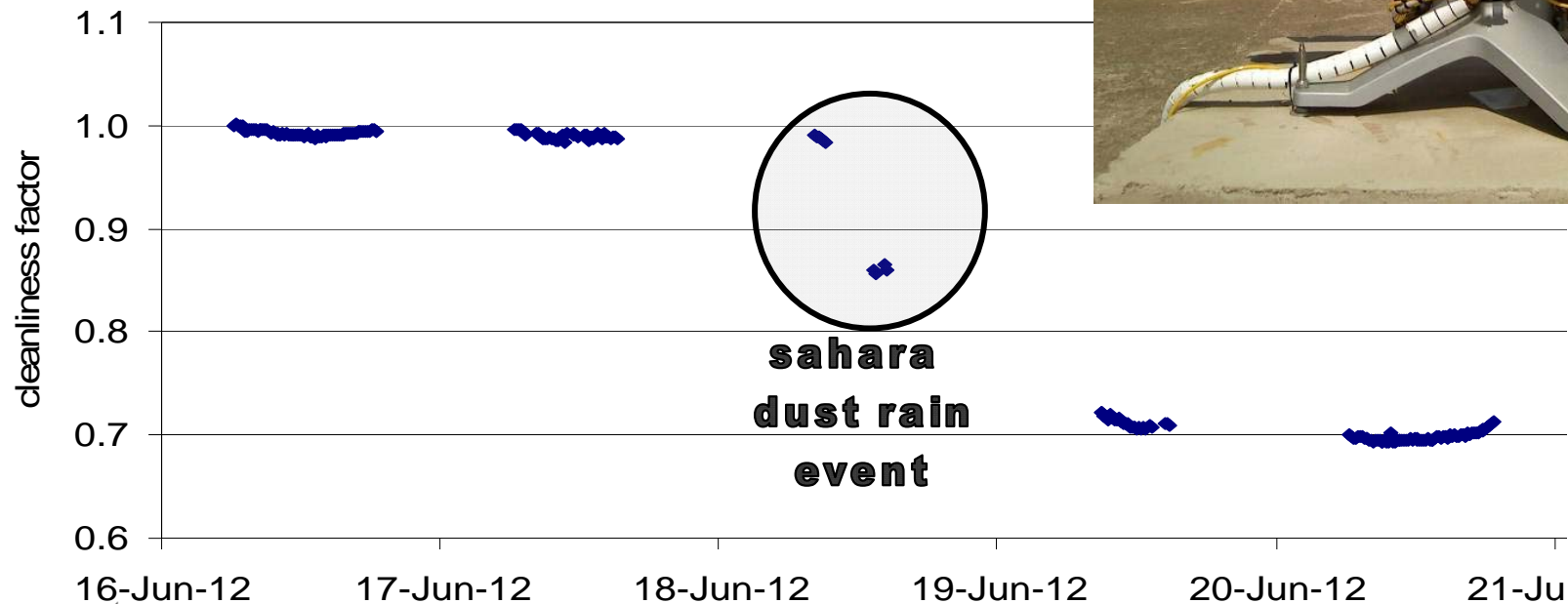
Kosten der Komponenten:  
Anti Soiling Coatings?

Kosten der Wartung



## Einfluss von Verschmutzung

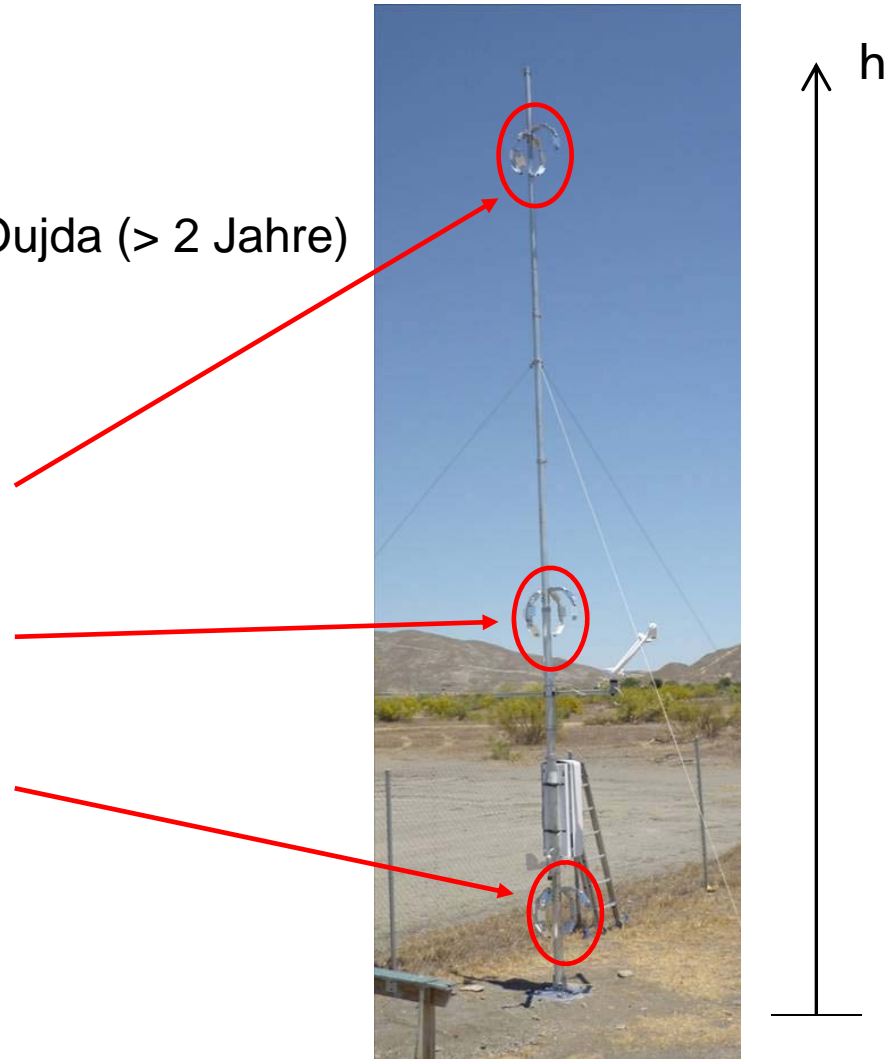
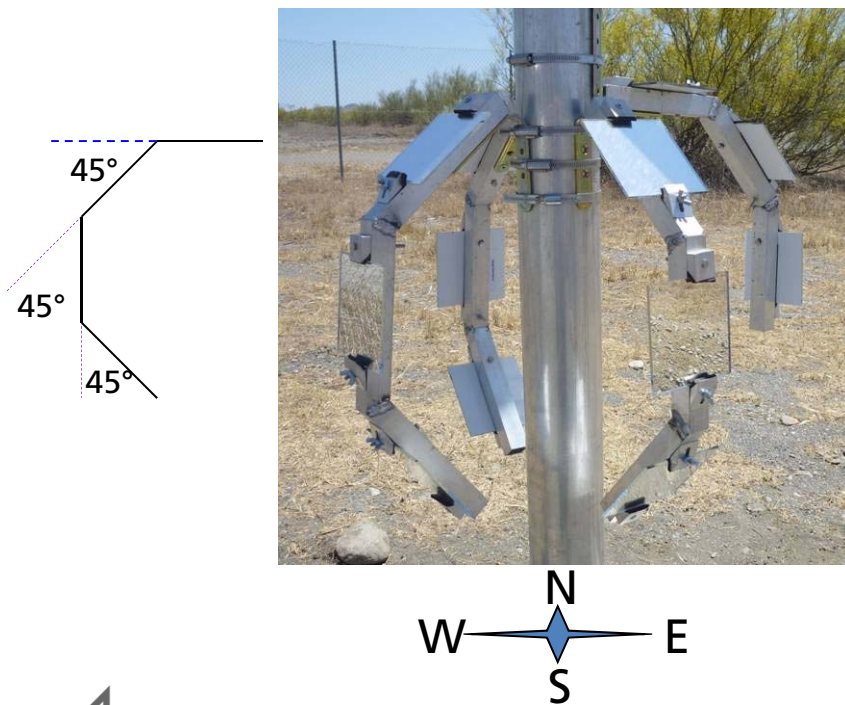
- Messsystem entwickelt (TraCS)
- Vergleich von DNI mit reflektierter DNI ergibt „cleanliness“
  - $\rho = \rho_{\text{clean}} * \text{cleanliness}$
- Bsp.: Oujda, Marokko





# Einfluss von Verschmutzung

- Spiegel-Exponierung
- Höhen- und Richtungsabhängigkeit
- Langzeitmessungen von PSA und Oujda (> 2 Jahre)



# Einfluss von Wüstenbedingungen auf die Kraftwerks - Lebensdauer

## Strahlung

- besonders UV
- chemische Reaktionen

## Wind

- mechanische Lasten
- Verschmutzung

Besonders relevant für:  
-kostengünstigere  
Komponenten  
-hohe Temperaturen

## Temperatur

- täglicher Wechsel
- Frost
- mechanische Belastung



## Aerosole

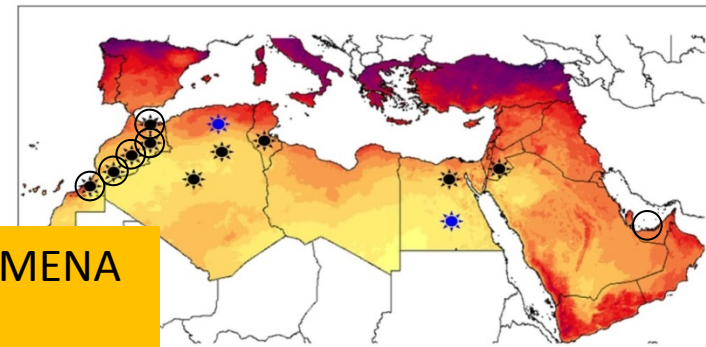
- Salz, Staub, Industrielle Emissionen
- Verschmutzung / Chemische Reaktionen, insbesondere bei heißen Oberflächen

## Sandstürme

- Abrasion

## Feuchte

- Luftfeuchte, Tau, Regen
- Chemische Reaktionen
- Verschmutzung

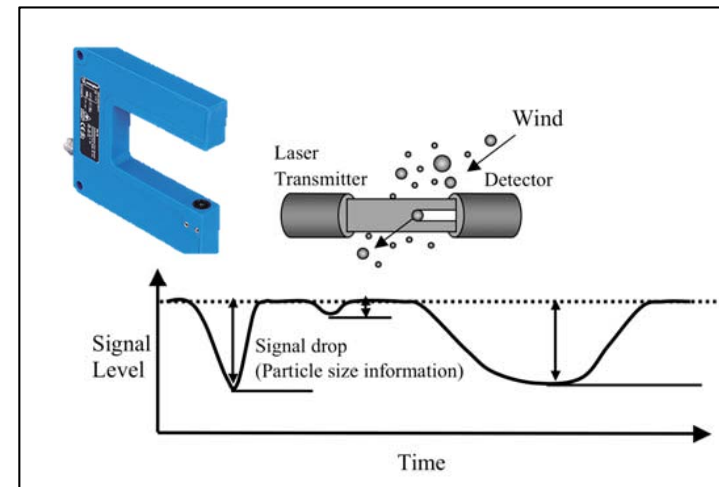


Spiegel exponiert neben marokkanischen enerMENA  
Meteo-Stationen und in Masdar



# Abrasion durch Sandstürme

- Analyse von Windgeschwindigkeit und Flug-Sandkonzentration
  - enerMENA Meteonetzwerk
- Ausblick: Übertragung auf Laborversuche





## Zusammenfassung & Ausblick

- Messsysteme für Sunshape, Extinktion und Verschmutzung sind nun verfügbar!
  - Ausblick: System zur quantitativen Bewertung von Sandstürmen wird erprobt
- Bewertung des Effekts von Wüstenbedingungen auf CSP Kraftwerke
  - Beispielfälle für Sunshape-Einfluss erlauben Projektplanern die Unsicherheit ihrer Ertragsprognosen abzuschätzen
  - Ausblick: Analoge Bewertungen für Verschmutzung, Extinktion, ...
- Meteorologische Parameter für Komponentenbeständigkeit werden gemessen, Labortest für Materialien werden durchgeführt
  - Ausblick: Bestimmung von Beschleunigungsfaktoren der Labortests
- Ausblick:
  - Standortangepasstes Design
  - Karten der relevanten Parameter (Sunshape, Extinktion, ...)



# Literaturverzeichnis

- (Hanrieder , 2012) Hanrieder, N., F. Wehringer, S. Wilbert, F. Wolfertstetter, R. Pitz-Paal, A. Campos, and V. Quasching. "Determination of Beam Attenuation in Tower Plants." Paper presented at the SolarPACES Conference, Marrakesh, Morocco, 2012.
- (Wilbert, 2012) Wilbert, S., R. Pitz-Paal, and J. Jaus. "Circumsolar Radiation and Beam Irradiance Measurements for Focusing Collectors." Paper presented at the ES1002: COST WIRE Workshop May 22nd-23rd, Risö, Denmark, 2012.
- (Wilbert, 2013a) Wilbert, S., B. Reinhardt, J. DeVore, M. Röger, R. Pitz-Paal, C. Gueymard, and R. Buras. "Measurement of Solar Radiance Profiles with the Sun and Aureole Measurement System." *Journal of Solar Energy Engineering* 135, no. 4 (2013): 041002.
- (Wilbert, 2013b) Wilbert, Stefan, Robert Pitz-Paal, and Joachim Jaus. "Comparison of Measurement Techniques for the Determination of Circumsolar Irradiance." *AIP Conference Proceedings* 1556, no. 1 (2013): 162-67.
- (Wilbert, 2014) Wilbert, Stefan. "Determination of Circumsolar Radiation and Its Effect on Concentrating Solar Power." PhD thesis, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, DLR, 2014.
- (Wolfertstetter, 2012) Wolfertstetter, F., K. Pottler, A. Merrouni, A. Mezrhab, and R. Pitz-Paal. "A Novel Method for Automatic Real-Time Monitoring of Mirror Soiling Rates." Paper presented at the SolarPACES Conference, Marrakesh, Morocco, 2012.
- (Wolfertstetter, 2013) Wolfertstetter, F., K. Pottler, N. Geuder, R. Affolter, A. A. Merrouni, A. Mezrhab, and R. Pitz-Paal. "Monitoring of Mirror and Sensor Soiling with Tracs for Improved Quality of Ground Based Irradiance Measurements." Paper presented at the SolarPACES Conference, Las Vegas, USA, 2013.



# Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

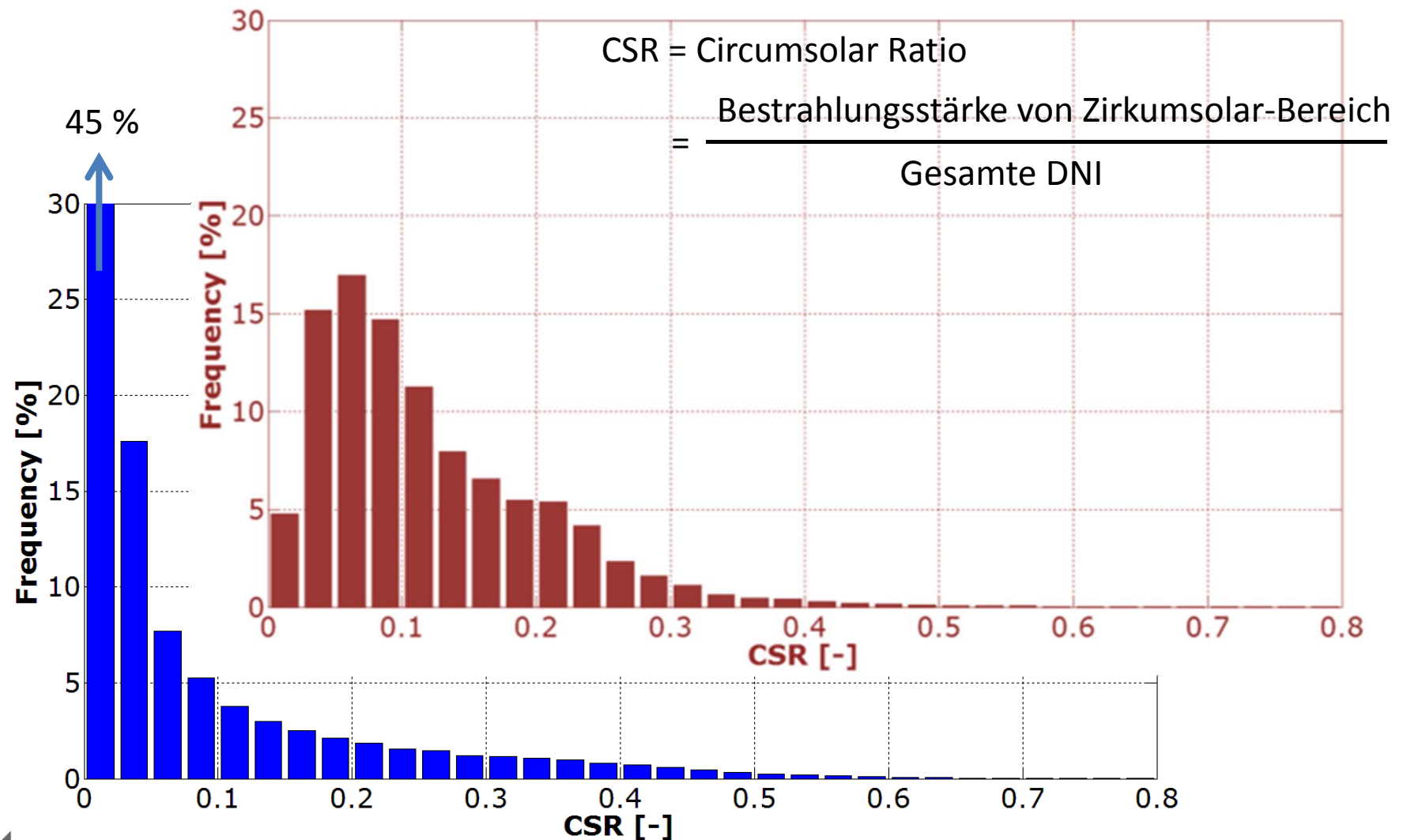
Kontakt: [stefan.wilbert@dlr.de](mailto:stefan.wilbert@dlr.de)

## **Danksagung:**

- Wir danken der Europäischen Union für die Unterstützung in den Projekten SFERA und STAGE-STE.
- Wir danken dem Auswärtigen Amt für die Finanzierung des enerMENA Projekts.
- Wir danken Masdar Institut für die Bereitstellung der Sunshape Messungen von Masdar.
- Wir danken den Kollegen des CIEMATs für die gute Zusammenarbeit in den Kollaborationen METAS und OPAC.



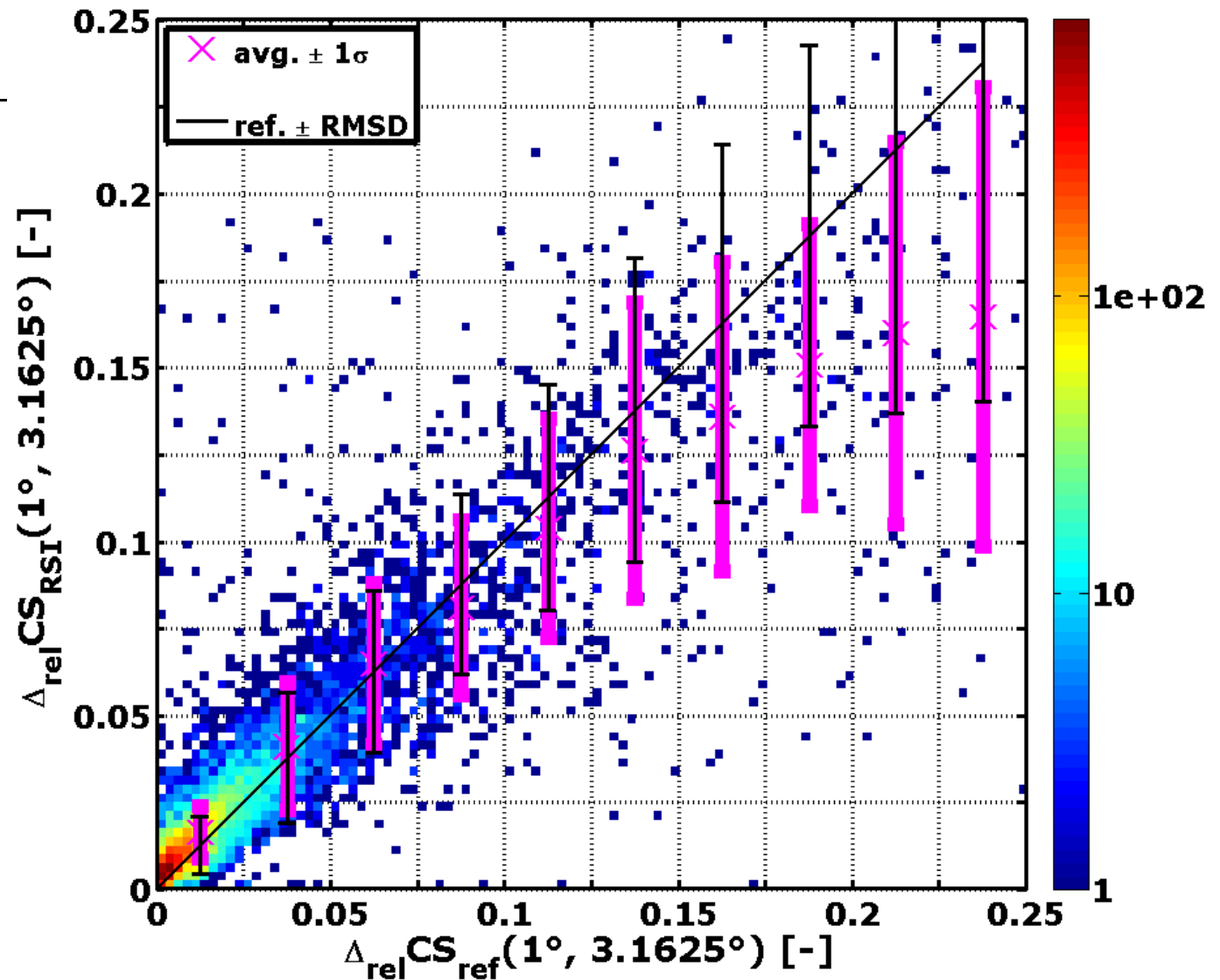
## CSR Histogramme (PSA und Masdar)

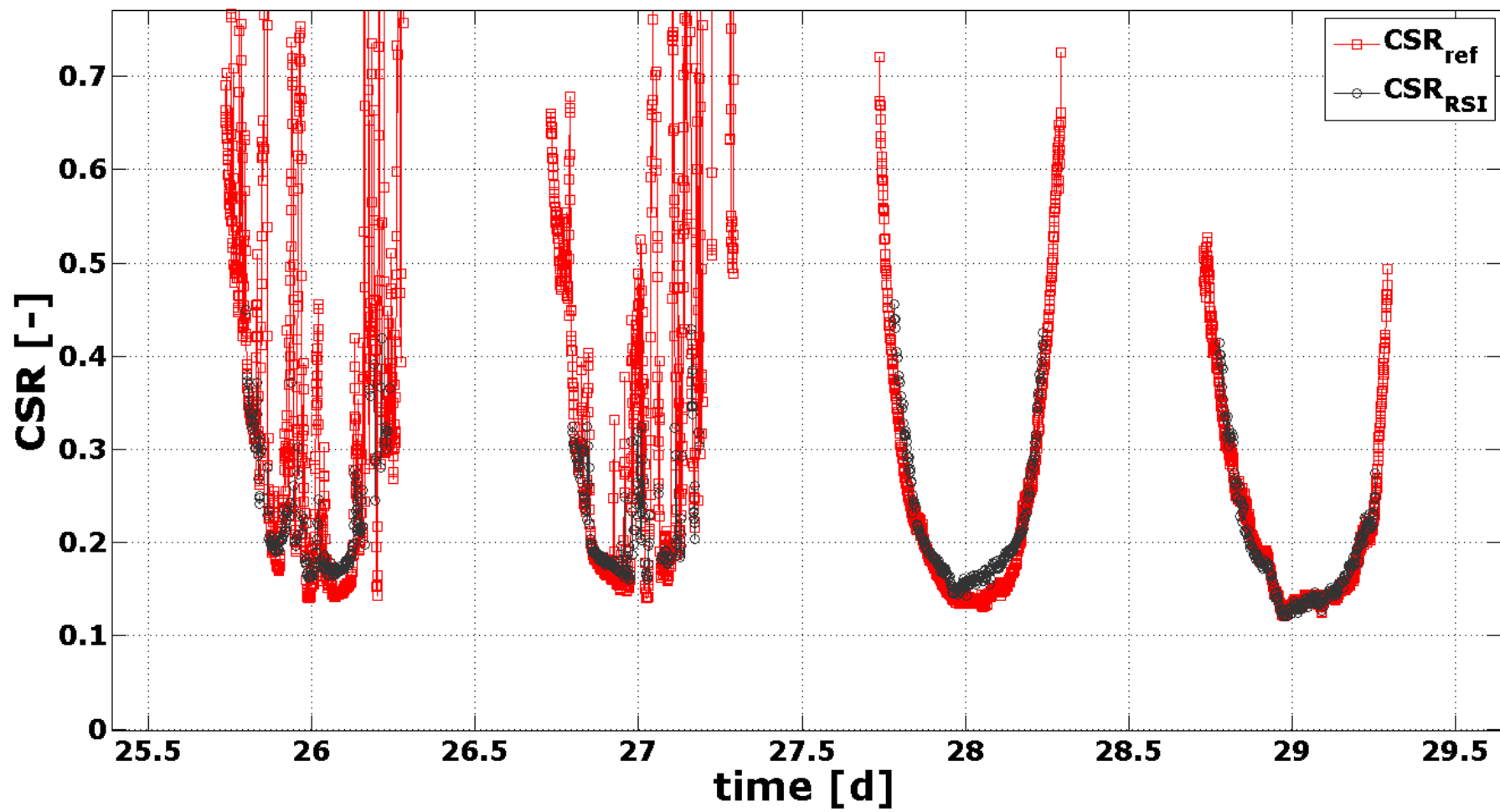


# Validation with SFERA system

$$\frac{C(3.1625^\circ) - C(1^\circ)}{DNI(3.1625^\circ)}$$

- Parameter optimized with 1 year of reference sunshape data
- Here: validation with 1 year

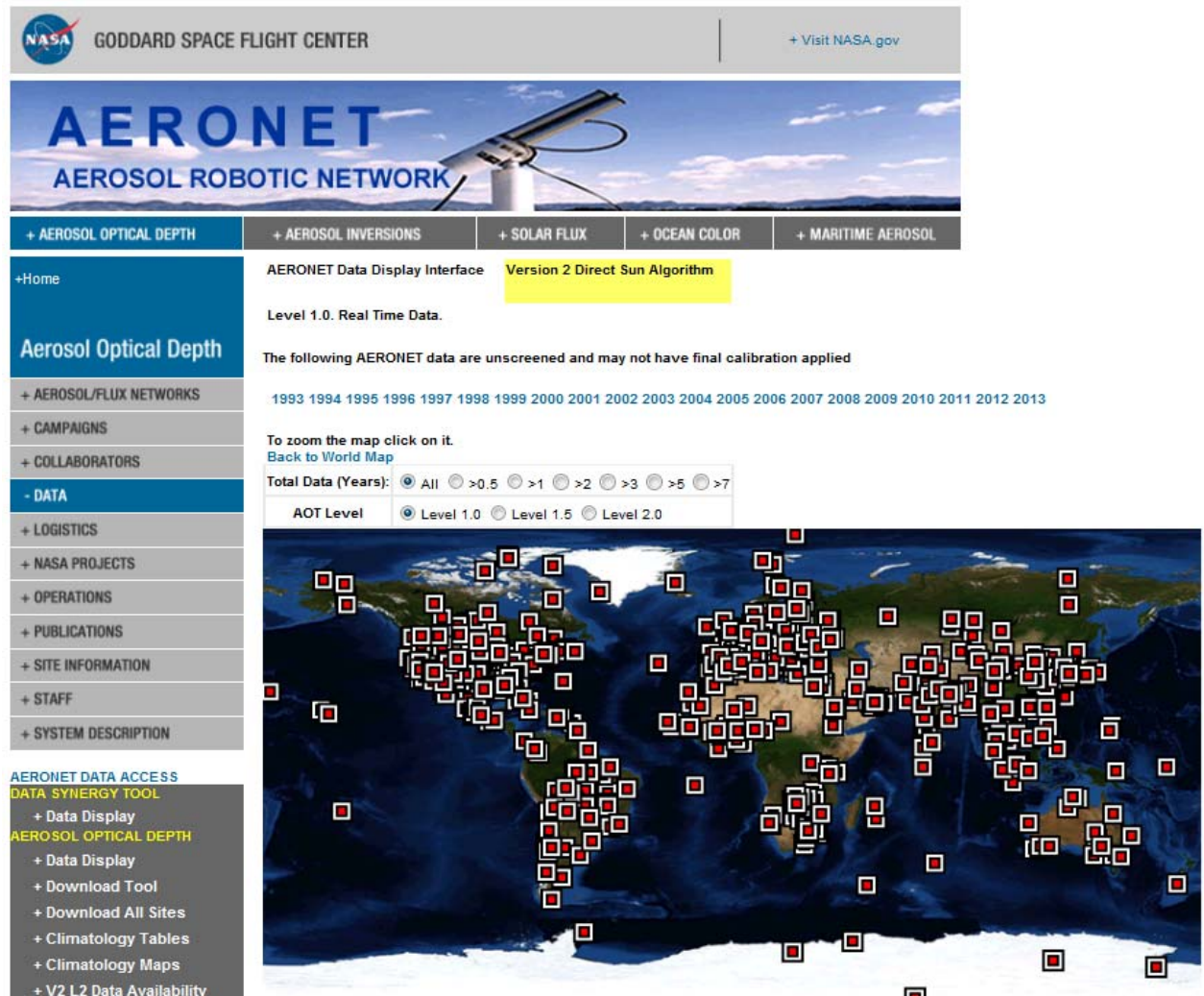




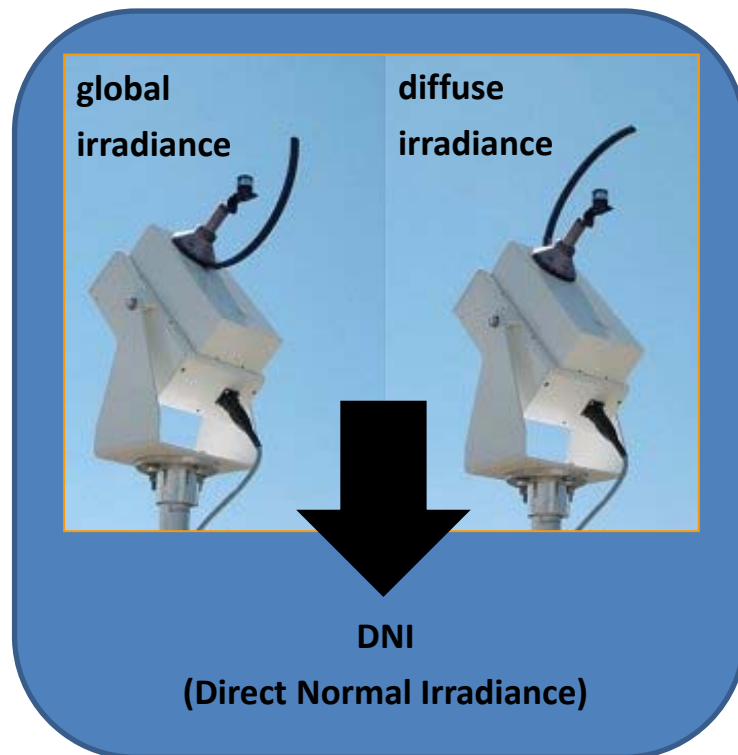


# AERONET sun photometer

- - PSA station is part of NASA's AERONET since 2011
- - reference for satellite based aerosol measurements
- - input for DNI modeling



# Rotating Shadowband Irradiometers (RSIs)



## Principle of operation

1. Pyranometer measures global irradiance
  2. Shadowband rotates once per minute
  3. During rotation: measure the diffuse irradiance
- DNI is calculated



- Robust instrument used for solar resource assessment at remote sites
- Characterization, further improvements & calibration



# Langzeitmessreihen der Verschmutzungsrate

Mean values over all mirror orientations and heights

